

# 消磁电源误差信号采集与处理方法<sup>①</sup>

李文俊<sup>1</sup>, 周世勋<sup>2</sup>, 张向利<sup>1</sup>, 樊露<sup>1</sup>, 熊金凤<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(桂林电子科技大学 信息与通信学院, 桂林 541004)

<sup>2</sup>(桂林海威船舶电器有限公司, 桂林 541002)

**摘要:** 为了解决传统仪器在消磁设备误差检测中存在着测试周期长, 精度偏低, 自动化程度不高等问题, 结合消磁电源模块误差的来源和消磁电源模块的特性, 研究了消磁电源模块静态特性、动态特性、瞬态特性的测试方法。同时对系统的自校正技术原理和算法进行了研究, 提出了基于最小二乘法和实用滤波法的三段式的数据校准方法来消除系统误差, 设计了差分放大电路来抑制零漂现象; 基于虚拟仪器技术和 Labview 平台, 根据所提出的测试方法和分析方法, 成功实现了消磁电源模块误差测试系统。

**关键词:** LABVIEW; 消磁电源; 多通道; 数据采集; 实时; 分析

## Error Signal Acquisition and Processing Method Based on Degaussing Power

LI Wen-Jun<sup>1</sup>, ZHOU Shi-Xun<sup>2</sup>, ZHANG Xiang-Li<sup>1</sup>, FAN Lu<sup>1</sup>, XIONG Jin-Feng<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(School of Information and Communication, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

<sup>2</sup>(Guilin Haiwei Marine Electrical Company Limited, Guilin 541002, China)

**Abstract:** In order to solve the problems of low accuracy, long time for error testing and low automation when people use traditional instruments to test the error of degaussing equipment. In this paper, the degaussing system error sources and characteristics of degaussing equipment are discussed. It analyzes the feasibility of a common error handling method such as the least squares method and practical filter analysis. Meanwhile it also researches the test methods about degaussing equipment static characteristics, dynamic characteristics, transient characteristics and normality characteristics. This paper studies the algorithms of the system self-correction technology, gives the three stages of data calibration method to eliminate the systematic errors, devises the differential amplifier circuit to suppress the zero-drift phenomenon. Based on virtual instrument technology and Labview platform, according to the proposed test methods and analytical methods, it gives a successful implementation of a degaussing power error testing system.

**Key words:** LABVIEW; degaussing power; multi-channel; data acquisition; real-time; analysis

消磁电源模块是消磁系统的关键部件, 提高消磁电源模块的工作精度和维护效率对保证整个消磁系统的消磁效果意义重大。消磁电源模块误差分析系统就是用来测量消磁电源模块存在的误差, 通过误差分析算法来弥补这一误差, 这不仅提高了船舶消磁系统的整体精度, 也提高了船舶消磁系统的维护效率。目前国内外对消磁系统误差研究的较少, 更多的是对从消磁算法和消磁设备上优化改进, 从而减小误差,

提高消磁系统精度和维护效率的研究。现有的基于 LABVIEW 平台开发的消磁误差测试系统在系统精度, 系统实时性以及软件操作界面等几个方面仍然有不少的提升空间<sup>[1-3]</sup>。傅军等提出并建立了一套基于 GPS RTK 技术的远程动态航向船位测量系统<sup>[4]</sup>。张志利, 侯传勋等提出了“校准引擎+校正数据库+校正插件”的新校准软件开发架构<sup>[5]</sup>。Nguyen, Guichon 等人提出了一种舰船磁异常的关于整体体积之间的积分方程法

① 基金项目: 广西研究生教育创新计划资助项目(ZYC0509)

收稿时间: 2012-02-21; 收到修改稿时间: 2012-04-18

(IVEM)和快速多极算法(FMM)的耦合模型<sup>[8]</sup>. Bok, Schauer 针对阴极发光实验, 利用图形化编程环境的 LabVIEW 实现了自动化<sup>[11]</sup>.

因此综上所述, 传统的测试系统已经无法满足当前的各种测试需求. 本文针对消磁电源模块误差测试系统的误差来源进行分析建模, 提出了测试系统的数据误差校准、数据处理等方法, 使测试系统的精度得到提高, 同时也能提供对消磁电源模块各种特性的功能性测试. 结合虚拟仪器的优势并利用 LabVIEW 图形化编程来实现数据的采集及处理, 使软件操作更简便, 大大提高了消磁设备的维护效率, 节约了成本.

### 1 消磁电源误差分析测试系统硬件设计

本误差分析测试系统使用的是带有 GPIB 接口的数据采集卡与信号转接盒, 通过 GPIB 接口把数据采集模块与工控机相连, 通过 GPIB 总线进行软硬件系统间数据和指令的传输, 实现软件系统对传统仪器的控制, 高效灵活地完成各种测试测量任务. 根据实际情况, 选用 16 输入通道、16 位采样分辨率、100KS/s 转换速率的 PCI-9111 采集卡. 同理 D/A 采集卡采用 8 通道电压输出、16 位采样分辨率的 PCI-6208V 采集卡. 消磁电源误差分析测试系统流程图如图 1 所示.

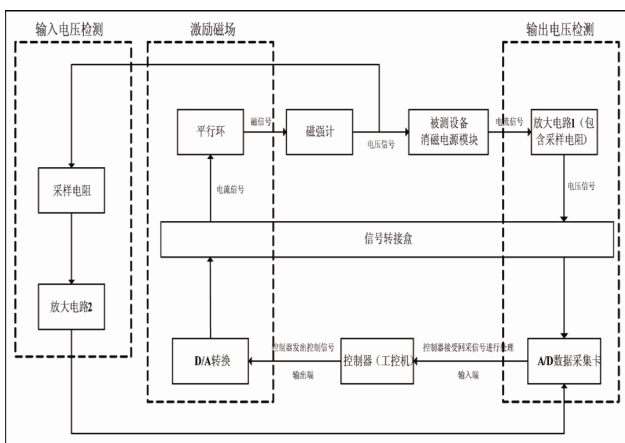


图 1 消磁电源误差分析测试系统流程图

### 2 消磁电源误差分析测试系统软件设计

本系统软件是基于 LABVIEW 开发平台的, 软件根据测试项目划分为 5 个子模块分别进行设计: 1) 信号与信道校准模块; 2) 静态误差测试分析模块; 3) 动态误差测试分析模块; 4) 瞬态误差测试分析模块; 5) 常态测试分析模块. 程序流程图如图 2 所示<sup>[6,7]</sup>.

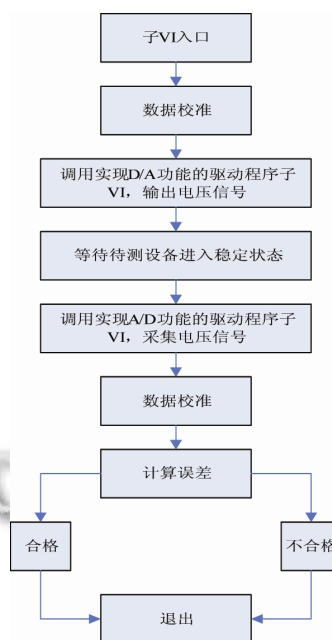


图 2 数据采集分析程序流程图

#### 2.1 信号与信道校准模块

对于数据采集板所采集到的原始的测量数据, 必需进行校准和粗大误差的剔除<sup>[9,10]</sup>. 本文采用的数据采集卡是实现 D/A 功能的凌华 PCI-6208V 和实现 A/D 功能的 PCI-9111. 设置 PCI-9111 的采样频率为 2KHz, 系统要求是 10ms 输出一个采样值, 则可以通过数字滤波对每 10ms 内的 20 个采样数据进行预处理, 求得相应的最优估计值.

在满足精度的情况下, 为了节约成本和提高系统对大量数据的处理速度, 本文选择了一阶差分法来剔除粗大误差. 首先根据国际标准选定一个误差门限

$$W = \frac{Y' - Y}{Y} \text{ 为千分之三, } Y' \text{ 为采样值, } Y \text{ 为理论值. 在}$$

$t$  时刻的采样值和预测值分别为  $x_t$  和  $x'_t$ . 如果  $|x_t - x'_t| > W$ , 则用预测值  $x'_t$  取代  $x_t$ . 利用下列一阶差分方程求得:  $x'_t = x_{t-1} + (x_{t-1} - x_{t-2})$ , 式中  $x_{t-1}$  表示  $t$  时刻前一个采样点的值,  $x_{t-2}$  表示  $t$  时刻前两个采样点的值. 满足关系式  $|x_t - x_{t-1} - x_{t-1} + x_{t-2}| \leq W$  的三个点可以作为判断的起始点. 为了避免连续的粗大误差而使预测值偏离正常值的趋势, 在连续替代两个粗大误差值之后, 对后面的采样数据, 如果满足

$$\begin{cases} W_2 > |x_t - x'_t| > W \\ W_2 = KW \end{cases} \quad (1)$$

则认为有效值, 可以用该数据计算下一个预测值和

参与粗大误差的判断. 如果不满足则用  $x'_i$  代替  $x_i$ , 用前一个  $x'_i$  计算下一个预测值和参与粗大误差的判断.  $K$  在本系统中取 5. 在剔除掉采集数据中的粗大误差后, 还需要采用防脉冲干扰复合滤波法对数据进行进一步处理, 以得到跟有效的数据. 原理如下: 对某一个采样点连续采得到采集数据  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_{20}$ , 从小到大排序, 如果有  $x_1 \leq x_2 \leq x_3 \leq \dots \leq x_{20}$ , 则  $Y = (x_2 + x_3 + \dots + x_{19})/18$ ,  $Y$  表示该点最后得到的采样值.

本文中, 可以把采样电路和放大电路的输入与输出间的关系视为线性. 本文采用了信号与信道的三段校准法来消磁系统误差; 1) 为理论值与实际值的校准; 2) 为实际值与反馈值的校准; 3) 为传输通道的校准. 在第一阶段, 让通过 D/A 转换后的控制信号逼近预期的理论信号; 在第二阶段, 让通过 A/D 转换后的反馈信号逼近通过 D/A 转换后的控制信号.

$$V_1 = v_1 k + b \tag{2}$$

$$V_2 = v_2 k + b \tag{3}$$

其中  $V_1, V_2$  分别为预期的理论值,  $v_1, v_2$  分别为通过精密测量仪器实测回来控制信号, 但在测试两次而构建的二元一次方程组解得的校准系数  $K$  和校准偏移量  $b$  的值是不够准确的, 为了得到  $K$  和  $b$  的最优值, 需要增加测量的次数以减小误差, 在这种情况下会出现方程式的数目多于待求量的数目, 需要利用最小二乘法来求得最优解. 在对本消磁电源模块误差测试分析系统去系统误差时, 根据量程分别对输入信号为正和为负的情况下分别进行去系统误差操作. 在输入信号为正时: 设置测试次数为 10, 由于正量程为 0V-10V, 所以在第一阶段, 在理论输入信号值  $V_1$  为 0.5V, 1.5V, 2.5V, ..., 9.5V 时, 分别利用高精度的测量仪器测出上述十个测量点的反馈值  $v_i$ , 此时可得出方程组(4). 方程组中,  $V_1 - V_{10}$  分别对应着 0.5V-9.5V,  $v_1 - v_{10}$  分别对应着各测量点的反馈值. 由于每次测量都可以近似视为等精度测量, 所以根据最小二乘法原理, 可以得到上述方程组的残差方程组(5).

$$\begin{cases} V_1 = v_1 k + b \\ V_2 = v_2 k + b \\ \dots \\ V_{10} = v_{10} k + b \end{cases} \tag{4}$$

$$\begin{cases} e_1 = v_1 - (v_1 k + b) \\ e_2 = v_2 - (v_2 k + b) \\ \dots \\ e_{10} = v_{10} - (v_{10} k + b) \end{cases} \tag{5}$$

整理可以得到线性参数等精度测量数据最小二乘法处理的正规方程组矩阵形式:

$$\begin{pmatrix} -v_1 & -1 \\ -v_2 & -1 \\ \dots & \dots \\ -v_{10} & -1 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} k \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -v_1 - v_2 - \dots - v_{10} \\ -1 - 1 - \dots - 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \dots \\ v_3 \end{bmatrix} \tag{6}$$

解该正规方程组, 则可得到待求量系统误差的补偿系数  $K$  和  $b$  的最优估计值. 负量程段的去系统误差操作, 第二阶段和第三阶段的校准方法均与上述方法一样.

本文设计了差分放大电路, 同时采用直流稳压电源对信号转接盒进行供电等措施来抑制零漂现象. 电路图如图 3 所示.

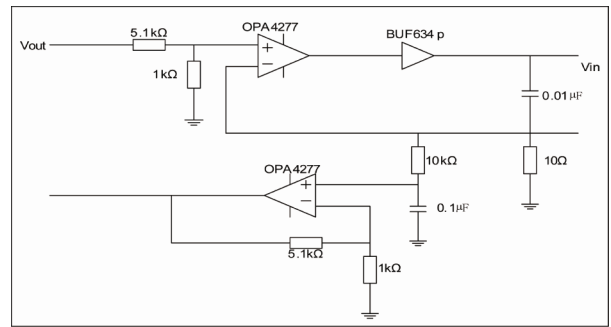


图 3 差分放大电路原理图

### 2.2 静态误差测试分析模块

静态误差的计算如式:

$$y = \frac{(x - o) - X}{x - o} \times 100\% \tag{7}$$

式中表示对象的静态相对误差;  $x$  表示被测对象的输入信号值;  $o$  表示被测对象输入为 0 时被测对象的输出, 即为零偏误差;  $X$  表示系统采集回来的输出信号值. 测试方法如下: 将控制信号分为均匀对称的若干段进行发送, 即发送值为(控制信号×发送系数), 发送系数从-1 到+1, 每段递增 0.1. 比如控制信号为+10V, 那么发送的 21 段值就是从(-10, -9, -8, ..., +9, +10). 每一段持续至少 4 秒的发送时间, 前三秒的数据只做显示, 不参与数学处理, 对所有第 3 秒之后的数据求取算术

平均值,把这个算术平均值就作为了该段的实测值,利用算法公式进行计算,可以得到该段的静态误差。

### 2.3 动态误差测试分析模块

动态误差的计算公式与静态误差的计算公式一样。测试方法如下:中央控制器向消磁电源模块发送一正弦控制信号,通过软件设置动态测量速率 A,来控制每个正弦信号周期内采集到的数据个数  $N = 360/P \times 0.001 \times A$ , P 为硬件的采样频率。发送至少两个周期的正弦信号,在第一个周期内采集到的数据只用来做显示,不做数学处理,从第二个周期开始,对采集到的每一个数据按照算法公式进行误差计算,一共可以得到  $N*(\text{周期数}-1)$  个动态误差。

### 2.4 瞬态测试分析模块

对于瞬态误差,测试方法如下:瞬态误差的测试通过发送一跳变的控制信号,跳变系数为  $(-0.35 \sim +0.35)$ ,可以得到一振荡衰减的反馈信号,根据这个反馈信号通过计算机软件功能模块的算法编程来计算瞬态误差的各项指标。

## 3 系统的调试与实验结果

根据上述的原理及方法,对消磁电源模块进行实验,可得到实验结果分别如下:

### 3.1 静态误差测试实验

静态误差分析实验:分析测试消磁电源模块的线性度和灵敏度等。输入控制信号为 21 个步进值的阶梯信号,每段持续 4 秒,消磁电源模块的 8 条通道全部同时处于工作状态。测试结果如图 4 所示。

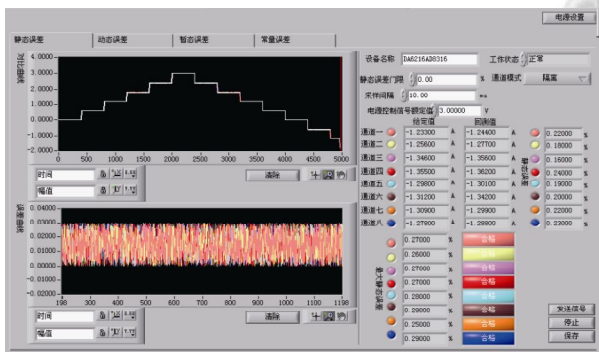


图 4 静态误差实验结果

图 4 的对比曲线栏中红色曲线为给定值,其它颜色的曲线对应于消磁电源模块相应表征颜色的工作通道的输出值,两者的误差在误差曲线中显示。可以看

到 8 条通道中的最大静态误差为 0.29%(<0.3%),满足系统的要求。

### 3.2 动态误差测试实验

动态误差分析实验:输入控制信号为一正弦信号,动态测量速率为  $60^\circ/s$ ,发送三个完整周期。消磁电源模块的 8 条通道全部同时处于工作状态,测试结果如图 5 所示。

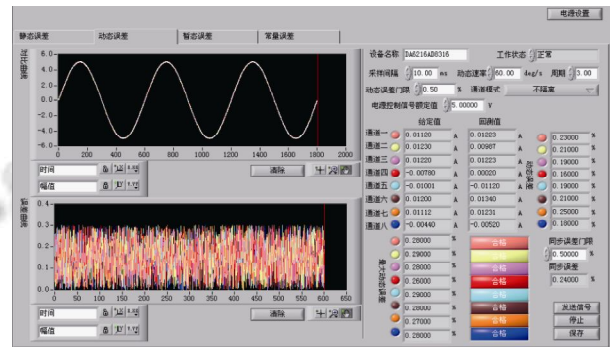


图 5 动态误差实验结果

由图 5 可以看到 8 条通道中的最大动态误差为 0.29%(<0.3%),满足系统的要求。

### 3.3 瞬态误差测试实验

瞬态误差分析实验:主要包括时域内的调节时间和调节时间内的振荡次数。输入信号为阶跃信号,从控制信号额定值的跳变到,对消磁电源的输出进行一段时间的采样。测试结果如图 6 所示。

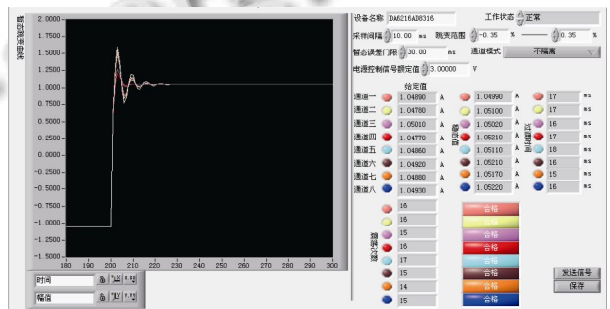


图 6 瞬态误差实验结果

由图 6 可以看到 8 条通道中的最大调节时间为 18ms,满足系统的要求。

## 4 结语

能够对消磁系统的误差进行快速准确的检测及分析一直是制约消磁系统的研发进度和性能的重要因素

之一。这就对消磁系统误差测试过程的智能化、高精度化和高自动化提出了严格的要求。

本文设计的消磁电源模块误差测试系统对消磁电源模块的精度误差进行了分析,通过对该误差进行补偿,并充分发挥了台式仪器测试精度高的优势,结合计算机强大的数据处理能力,从而提高消磁系统误差测试仪的精度以满足设计要求。通过实验结果可以发现测试系统的测试精度在左右,这个指标与现存磁强计测试仪的测试精度相比,精度标准有了很大的提升。更有操作界面的简洁方便,使得本系统能够很好得满足工业使用的要求。

同时本次消磁电源模块误差测试仪的设计思路对以后涉及到电信号误差测试系统的设计具有一定的借鉴作用。

#### 参考文献

- 1 桂永胜.船舶消磁控制设备现状及发展趋势.中国舰船研究,2010,5(4):75-80.
- 2 郝东,绳涛,陈小前.三轴磁强计测量误差修正方法.航天器环境工程,2011,928(5):463-466.
- 3 赵文春,刘大明,严孟奎.一种新型消磁电源系统的模拟研究.舰船电子工程,2011,31(5):157-159.
- 4 傅军,朱涛,肖骞.舰船消磁远程动态航向船位测量系统设计.计算机测量与控制,2010,18(11):2462-2464.
- 5 张志利,侯传勋,姜毅.基于虚拟仪器的数据采集卡校准技术研究.自动化仪器,2011,32(12):20-24.
- 6 曲丽容等.Labview、Matlab 及其混合编程技术.北京:机械工业出版社,2011.153-156.
- 7 和青芳,等.计算机图形学原理及算法教程(Visual C++).第2版.北京:清华大学出版社,2010.236-241.
- 8 Nguyen TS, Guichon JM, Chadebec O, Labie P, Coulomb JL. Ships Magnetic Anomaly Computation With Integral Equation and Fast Multipole Method. Magnetics. 2011,47(5): 1414-1417.
- 9 Zulkifli MZ, Harun SW, Thambiratnam K, Ahmad H. Self-Calibrating automated characterization system for depressed cladding EDFA applications using Labview software with GPI. Instrumentation and Measurement, 2008, 57(11):2677-2681.
- 10 Pavel V.Nikitin, K.V.Seshagiri Rao. Labview-Based UHF RFID Tag Test and Measurement System. Industrial Electronics, 2009,56(7):2374-2381.
- 11 Bok J, Schauer P. Labview-based control and data acquisition system for cathodoluminescence experiments. Review of Scientific Instruments, 2011,82(11):113109-113109-6.
- Trans. Systems, Man, and Cybernetics-Part B, 1996,26(1): 1-12
- 2 Dorigo M, Gambardella LM. Ant Colonies for the Traveling Biosystem,1997,43(2):73-81.
- 3 王更生,俞云新,等.基于DACS3的改进蚁群算法求解TSP问题.华东交通大学学报,2010,27(2):57-61.
- 4 侯文静,马永杰,等.求解TSP的改进蚁群算法.计算机应用研究,2010,6:2087-2089.
- 5 李士勇.蚁群算法及其应用.哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2004.29-30.
- 6 宗绍鹏,王锦彪,等.精英策略蚁群算法在求解TSP问题中的应用.中国民航大学学报,2007,7:105-106.
- 7 Naimihm T. New Robust and Efficient Ant Colony Algorithms: using new interpretation of local updating process. Expert Systems with Applications, 2009(36):481-488.
- 8 段爱民,陈泽琳,等.基于改进蚁群算法的物流配送路径优化.计算机技术与发展,2011,12:178-181.
- 9 郑峰峻.改进的蚁群算法在物流配送路径问题中的实现.物流科技,2010,2:22-24.

(上接第108页)